

مدلسازی عددی معماری فضاهای مشترک در پخش جریان آتش و دود در ساختمان‌های عمومی

کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران، hsoltani@gmail.com

استادیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران، ac.rahmanpour@azaruniv.ac.ir

استادیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران، mfallah@azaruniv.ac.ir

حامد سلطانی

مرتضی رحمان‌پور*

محسن فلاح

چکیده

پس از کشف آتش و تغییرات شگرف آن در زندگی بشر، آتش‌سوزی به عنوان یک خطر بزرگ همواره جان و مال مردم را تهدید می‌کرد. در این پژوهش به بررسی و شبیه‌سازی عددی آتش‌سوزی با استفاده از نرم‌افزار FDS در یک کتابخانه عمومی پرداخته شده و با ایجاد تغییراتی در معماری ساختمان به صورتی که بتواند بر زیبایی معماری و کارایی بنا اثر گذاشته و علاوه بر آن به کاهش سرعت گسترش آتش و افزایش ایمنی کتابخانه نیز کمک شود و ضمناً از بخش با ارزش مخزن کتاب نیز محافظت شود. به همین منظور ابتدا به بررسی تاثیر درب‌های ورودی بر گسترش آتش پرداخته شده و با استفاده از درب‌های اتوماتیک، تاثیر قابل توجهی در کنترل جریان باد ورودی به داخل کتابخانه حاصل شد. در ادامه با ایجاد قسمتی اصلاحی، تلاش برای محافظت از بخش ارزش در برابر نفوذ آتش شده است و در نتیجه این تغییرات علاوه بر افزایش زیبایی کتابخانه از منظر معماری، بعد از گذشت یک دقیقه دما در قسمت مخزن کتاب‌ها نسبت به وضعیت قبل از اصلاح، ۱۶ درصد کاهش پیدا کرده است.

واژه‌های کلیدی: آتش‌سوزی، معماری ساختمان، دود، شبیه‌سازی عددی، جریان باد، FDS.

Numerical Modeling of Architectural Effects of Common Spaces in Fire and Smoke in Public Buildings

H. Soltani
M. Rahmanpour
M. Fallah

Department of Mechanical Engineering, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran
Department of Mechanical Engineering, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran
Department of Mechanical Engineering, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran

Abstract

After discovery of fire and its dramatic changes in human life, fire as a great danger always threatened the lives and property of people. In this research, numerical simulations of fires using FDS software in a library are performed and by making changes in the architecture of the building in a way that can affect the architectural beauty and efficiency of the building and in addition reduce the speed of fire expansion. Help to increase the safety of the library, and also to protect the valuable part of the book repository. For this purpose, first, the effect of entrance doors on the spread of fire was investigated and by using automatic doors, a significant effect was achieved in controlling the air flow of incoming into the library. In addition, by creating a correction section, an attempt has been made to protect the valuable section against the intrusion of fire, and as a result of these changes, after one minute, the temperature in the bookcase has decreased by 16% compared to the pre-correction condition.

Keywords: Fire, building architecture, smoke, numerical simulation, fire spread, FDS.

۱- مقدمه

کشف آتش را شاید می‌توان از مهم‌ترین و موثرترین اکتشافات بشر دانست. با کشف آتش دریچه جدیدی به سوی تمدن بشری باز شد و بشر توانست از آتش برای گرم کردن خود و محافظت در برابر سرما، روشن کردن محیط اطراف در زمان تاریکی، پختن غذا به جای استفاده از گوشت و غذاهای خام استفاده کرده و با گذشت زمان توانست با استفاده از آتش و بعد از کشف فلزات شروع به ساخت ابزار آلات مورد نیاز خود کند. تاثیر آتش بر زندگی انسان‌ها هرگز معطوف به زمان خاصی نبوده و همیشه بشر توانسته از آتش سود ببرد. اما با کشف آتش خطر آتش‌سوزی نیز همواره بشر را تهدید می‌کرده است. این خطر که شامل خطرات جانی برای انسان و خطر آسیب دیدن سرپناه و از بین رفتن دارایی‌های افراد بود، همواره در طول زندگی بشر همراه او بوده و به همین دلیل بشر به فکر شناخت و مهار آتش و محافظت از جان و مال خود کرده است. در همین راستا اقدام به ایجاد الزامات مقابله با آتش و روش‌های مهار آتش پرداخته و در طول زمان متناسب با شرایط

زندگی خود، آن‌ها را تغییر داده است تا امروزه به روش‌های اعلام و اطفای حریق الکترونیکی و انواع کپسول‌های آتش‌نشانی برای مقابله با آتش‌سوزی‌های کوچک و ایجاد اداره و تشکیلات آتش‌نشانی برای مقابله با سانحه آتش‌سوزی کرده است. در این بین بررسی نحوه ایجاد و گسترش آتش‌سوزی با استفاده از شبیه‌سازی‌های کامپیوتری از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. پژوهش‌ها و مدلسازی‌های متعددی با استفاده از نرم افزارهای تجاری یا کد های کامپیوتری انجام شده است که در ذیل به تعدادی از کارهای شاخص در این زمینه اشاره خواهد شد.

موشان جون و همکاران [۱] در سال ۲۰۱۳ اقدام به انجام پژوهشی در خصوص آتش‌سوزی در کوبه‌های قطار نمودند. از آنجایی که ابعاد قطار و شرایط قرار گرفتن آن در تونل و مشکلاتی که تخلیه نفرات در صورت آتش‌سوزی با خود به همراه دارد انجام این پژوهش بسیار با ارزش و مهم به نظر می‌رسد. با توجه به اهمیت اجزا و فضای داخل کوبه برای شبیه‌سازی اقدام به مدلسازی قسمت‌های داخلی نموده و از مدلسازی قسمت‌های کم اهمیت و بیرونی اجتناب شده است تا ضمن کاهش محاسبات جهت به دست آوردن جواب‌های قابل استفاده نیز

* نویسنده مکاتبه کننده، آدرس پست الکترونیکی: ac.rahmanpour@azaruniv.ac.ir

تاریخ دریافت: ۰۰/۱۰/۱۴

تاریخ پذیرش: ۰۱/۰۲/۱۹

کاربرد داشته باشد.

گواکسیانگ و همکاران در سال ۲۰۱۷ در پژوهشی به بررسی تاثیر بازشوهای راه‌پله‌ها در ساختمان بلند مرتبه پرداختند. آن‌ها در مطالعه موردی یک ساختمان ۱۲ طبقه که در همکف ساختمان آتش‌سوزی اتفاق افتاده بود به بررسی جریان و سرعت حرکت آن در مسیر کانال راه‌پله‌ی ۱۲ طبقه‌ای پرداختند [۲]. این پژوهش درعین حال که بسیار با ارزش است از نظر کاربردی به دلیل شیوع استفاده انسان از ساختمان‌های بلند مرتبه مهم می‌باشد و گواه خوبی برای دقت و قدرت شبیه‌سازی نرم افزار FDS^۱ نیز می‌باشد و می‌تواند استفاده از این نرم افزار برای سایر شبیه‌سازی‌ها را بسیار دقیق و مفید تضمین نماید.

واهایوسوجانماکو و همکاران در سال ۲۰۱۷ در پژوهشی اقدام به شبیه‌سازی گسترش دود و گرما در یک ساختمان مسکونی پرداخته و با استفاده از یک منبع آتش متغیر برحسب زمان و به بررسی فاکتورهای مختلف آتش‌سوزی در منازل مسکونی پرداختند [۳]. یک سوژه واقعی برای شبیه‌سازی انتخاب شده و با استفاده از جهت بادهای غالب و اطلاعات معماری پنجره‌هایی که از آن‌ها باد به داخل ساختمان می‌شود را شناسایی کرده‌اند. و سپس مدلسازی پروژه با استفاده از طیف سرعت باد صفر تا سه متر بر ثانیه را تکمیل کرده‌اند.

الیاس سلامی و همکاران در سال ۲۰۱۸ در پژوهشی به بررسی گلوله‌های آتش پرداخته‌اند [۴]. گلوله‌های آتش اصطلاحی است که به آتش‌های ناگهانی در بالای برج‌های پتروشیمی گفته می‌شود. این پدیده که یک پدیده ناخوش آیند می‌باشد و دارای اثرات تخریبی در طبیعت می‌باشد و به صورت انتشار موج ضربه‌ای و تابش ناگهانی باعث بروز مشکلات زیست محیطی می‌شود [۴]. در این پژوهش به مدلسازی این نوع از آتش‌سوزی با استفاده از نرم‌افزار FDS پرداخته‌اند. و خروجی-هایی از دما در طول آتش‌سوزی و میزان انتقال گرمای تابشی با استفاده از مدلسازی عددی گرفته‌اند و در ادامه به شبیه‌سازی این پدیده در یک برج پروپان پرداخته و نتایج حاصل از شبیه‌سازی را با آزمایش واقعی مقایسه نموده‌اند.

شیاووم وانگ و همکاران در سال ۲۰۲۰ پژوهشی در باره حرکت دود و اشتعال پالت‌های چوبی در تونل‌ها انجام دادند. در قسمتی از این تحقیق تصویر معنی داری در مورد بررسی انتقال گرمای تابشی در آزمایش و شبیه‌سازی بیان می‌کند [۵]. در این تحقیق که برای بررسی جریان دود و آتش در داخل تونل‌ها انجام شده است تونل دارای فن برای تهویه و سایر مشخصات که در شکل بیان شده است می‌باشد. برای ایجاد آتش از روی هم گذاشتن پنل-های چوبی استفاده شده است و با استفاده از ویژگی‌های فیزیکی چوب اقدام به شبیه‌سازی نموده‌اند.

در سال ۲۰۱۹، شین لی و همکاران [۶] با مدلسازی یک آسمانخراش عیم‌الجنه در چین، با در نظر گرفتن انتشار گاز CO از یک آتش‌سوزی در یک اتاق یا بیرون از آن را در شرایط مختلف تا رسیدن آشکارسازهای اعلان حریق^۲ به حالت آزر مورد بررسی قرار دادند. علیرغم تطابق نتایج با واقعیت این پژوهش خالی از ارائه راهکار مناسب جهت کنترل آتش است و صرفاً در مرحله پیش از ساخت و در زمان

طراحی مد نظر قرار گرفته است.

در تحقیق دیگر در سال ۲۰۲۰ توسط مختاری و همکاران [۷]، ابتدا پلان دوبعدی یک ساختمان بلندمرتبه واقع در تهران، به‌صورت خودکار از داده‌های اخذ شده از سامانه نقشه‌های تفکیکی اداره ثبت، ایجاد گردید. سپس با بهره‌گیری از نرم افزار City Engine، مدل سه بعدی ساختمان با جزئیات مناسب تولید شد. در نهایت با به‌کارگیری مدل سه بعدی ایجاد شده، شبیه‌سازی انتشار دود در ساختمان مورد نظر در هفت سناریو متفاوت، در نرم‌افزار PyroSim انجام گرفت. نتایج مؤید قابلیت‌های مناسب مدل سه بعدی ساخته‌شده از داده‌های دو بعدی تفکیک آپارتمان، برای شبیه‌سازی و تحلیل سناریوهای گوناگون انتشار دود در ساختمان‌های بلند است. در این پژوهش بدون توجه به معادلات احتراقی و نیز مدلسازی جریان هوا، بیشتر به بررسی مدلسازی ساختمان از نقشه‌های تفکیکی و با دیدگاه نقشه برداری مورد توجه قرار گرفته است.

در سال ۲۰۲۱، سلطانزاده و همکاران [۸] در یک کار پژوهشی که بیشتر جنبه معماری محل قرارگیری ساختمان‌ها در یک مجتمع مسکونی- تجاری بر انتشار آتش سوزی پرداختند و تجربه چند آتش سوزی اخیر را از دیدگاه معماری لحاظ نمودند.

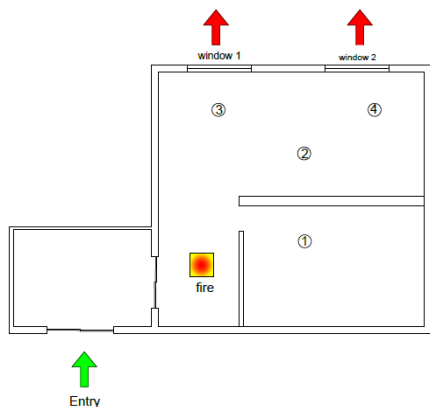
با توجه به اینکه شبیه‌سازی یک فرآیند فیزیکی، منجر به پیش بینی دقیق اتفاق شده و نیز با توجه به آن می‌توان با تمهیداتی مناسب و مهندسی پیامدهای آن را کنترل کرد، در این پژوهش تلاش شده است با شبیه‌سازی عددی یک ساختمان‌های عمومی، برای مثال برای یک مورد کتابخانه عمومی، را مطالعه نموده و تاثیر فرم‌های معماری بر گسترش آتش‌سوزی به طور مفصل بررسی شود و تلاش بر این بوده با تلفیق معماری با علم سیالات محل‌های امن‌تری از نظر گسترش آتش-سوزی طراحی گردد.

۲- روش تحقیق

روش بررسی نمونه موردی (Case Study) از روش‌های بسیار کاربردی برای رسیدن به جواب‌های قابل اعتماد است و برای انجام پژوهش که بررسی آتش‌سوزی و تاثیرات معماری بر روی آتش می‌باشد نیز مورد استفاده قرار خواهد گرفت به این صورت که پلان طراحی شده از یک کتابخانه عمومی که در شکل ۱ نشان داده شده در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته است. مدلسازی با استفاده از نرم‌افزار تجاری FDS انجام شده است که محصول شرکت National Institute of Standards and Technology (NIST) می‌باشد. این نرم افزار که نرم افزار تخصصی برای مدلسازی عددی جریان آتش و دود در فضاهای بزرگ معماری است، توانایی‌های منحصر به فردی از جمله مشخصه‌دار کردن تمام اجزا ساختمان، نصب آشکارساز برای اندازه‌گیری دما، تعیین ورودی و خروجی های هوا و حجم هوای ورودی و میزان گرمای خروجی از خروجی‌هایی مانند پنجره‌ها می‌باشد. در ضمن توانایی این نرم افزار برای خروجی گرفتن اطلاعات مورد نیاز برای تحلیل نتایج شبیه‌سازی از جمله خروجی دماها و میزان گرمای خروجی از پنجره‌ها و همچنین ارایه پویا نمایی با کیفیت از مراحل شیوع و گسترش آتش سوزی این نرم‌افزار را برای شبیه‌سازی جریان حریق و دود بسیار باکیفیت و دقیق و بسیار رایج برای تحلیل آتش سوزی‌ها کرده است [۹-۱۲]. امکان ایجاد شبکه بندی مش در ابعاد بزرگ برای ساختمان‌هایی که

^۱ Fire Dynamic Simulator

^۲ Fire Alarm Detector



شکل ۲- تصویر ورودی و خروجی های هوا و نیز محل آشکارسازهای دما و موقعیت اولیه آتش

$$\psi_m\left(\frac{z}{L}\right) = \begin{cases} -5\frac{z}{L} & : L \geq 0 \\ \ln\left[\left(\frac{1+\xi}{2}\right)^2\left(\frac{1+\xi^2}{2}\right)\right] - 2\tan^{-1}(\xi) + \frac{\pi}{2} & : L < 0 \end{cases} \quad (3)$$

$$\psi_H\left(\frac{z}{L}\right) = \begin{cases} -5\frac{z}{L} & : L \geq 0 \\ 2\ln\left[\frac{1+\xi^2}{2}\right] & : L < 0 \end{cases} \quad \xi = \left(1 - \frac{16z}{L}\right)^{1/4} \quad (4)$$

$$\theta = T\left(\frac{p_0}{p}\right)^{R/(W_{air}c_p)} \quad (5)$$

$$u_* = \frac{\kappa u_{ref}}{\ln\left(\frac{z_{ref}}{z_0}\right)} \quad (6)$$

$$\theta_* = \frac{u_*^2 \theta_0}{(gKL)} \quad (7)$$

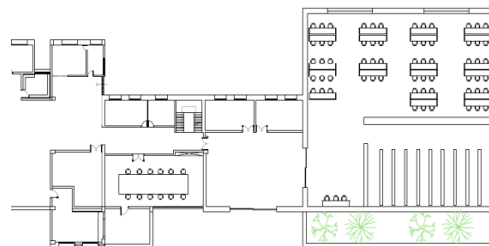
که در این معادلات u سرعت، θ دمای پتانسیل، L ضریب مونین-ابوکوف، T دما، z ارتفاع شعله، u_* و θ_* به ترتیب سرعت و دمای پتانسیل بی بعد شده و K ثابت وان کارمن هستند. در این نرم افزار از نظریه شبیه سازی مونین-ابوکوف^۱ برای مدلسازی جریان هوای جوی اطراف آتش استفاده شده است. در جدول ۱ مقادیر مختلف برای عدد ابوکوف آورده شده است که این عدد بر اساس میزان پایداری و یا عدم پایداری شرایط هوای جوی طبقه بندی شده است [۱۴].

در برخی مراجع این ضریب به صورت معادله بسته $L = \frac{u_*^2 T}{\kappa g \theta_*}$ تعریف شده است که در آن u_* سرعت اصطکاکی، T دمای زمین یا سطح، K ثابت وان کارمن و θ_* دمای بی بعد شده است. در جدول ۲ مقادیر ضریب اصطکاک ایرودینامیکی را بر اساس شرایط محیطی برای حالت های مختلف مورد استفاده در نرم افزار آورده شده است که بیشتر یک ضریب تجربی است که در مورد مسئله حاضر مقدار 0.05 با توجه به نوع سطح و وجود موانع کم و بیش متعدد لحاظ گردیده است.

جدول ۱- جدول مقادیر ضریب ابوکوف برای شرایط مختلف [۱۳ و ۱۴]

وضعیت	حدود L	اندازه پیشنهادی L
خیلی نامتعادل	$0 \leq L < 200$	-۱۰۰
نامتعادل	$-500 \leq L < -200$	-۳۵۰
طبیعی	$ L > 500$	۱۰۰۰
متعادل	$200 \leq L < 500$	۳۵۰
خیلی متعادل	$0 \leq L < 200$	۱۰۰

دارای ابعاد و فضاهای بزرگ و عمومی می باشند نیز از سری امکانات این نرم افزار می باشد که آن را به شکل قابل توجهی از سایر نرم افزارهای تحلیل سیالاتی موجود در بازار برای تحلیل آتش قابل استفاده تر و مناسب تر نموده است. پس از مشخص کردن ورودی هوا به ساختمان و خروجی های هوا عمدتاً که از طریق پنجره ها است، در شکل ۱ به صورت نقشه نمایش داده شده است، به شبیه سازی و گرفتن نتایج داده های خروجی حاصل از پردازش رایانه ای در نرم افزار FDS پرداخته شده است که تحلیل این نتایج و ایجاد تغییرات در ساختمان و مقایسه وضعیت نتایج در حالت جدید در بخش نتایج آمده است.



شکل ۱- پلان کتابخانه

در ادامه برای ایجاد آتش سوزی، محل مناسب برای ایجاد آتش بایستی انتخاب گردد که در این پژوهش به به جهت لحاظ نمودن بدترین شرایط طراحی و پخش جریان آتش در تمام محیط کتابخانه، محل آتش را در نزدیکی درب ورودی سالن قرار داده شده است و تعداد چهار عدد آشکارساز در محل های مشخص شده در شکل ۲ به منظور شناسایی حریق و تعیین مقادیر دما قرار داده شده است. به صورتی که در شکل ۲ نیز نشان داده شده است آشکارسازها در محل های مشخص از شماره ۱ الی ۴ شماره گذاری شده اند. آشکارساز شماره ۱ در داخل مخزن کتاب (محل خطر)، ۲ در نمای کلی و ۳ و ۴ به ترتیب در مقابل پنجره ها تعبیه شده اند. در گام بعدی، مدلسازی ساختمان کتابخانه در نرم افزار FDS اقدام شده است و ورودی های هوا، پنجره ها و دیوارهای احاطه کننده ساختمان کتابخانه مدلسازی شده اند و برای کاهش زمان شبیه سازی و کاهش تعداد معادلات از مدلسازی جزئیات خودداری گردیده و صرف نظر شده است.

۳- معادلات حاکم بر مساله

۳-۱- بررسی معادلات شبیه سازی جریان باد

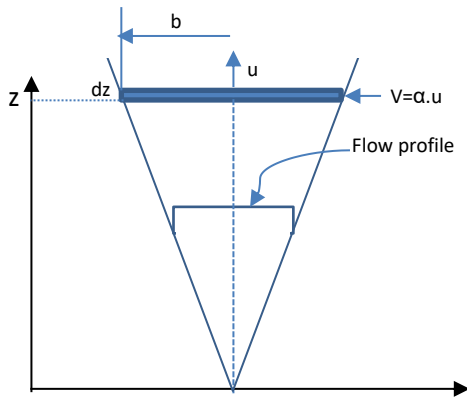
در نرم افزار FDS برای شبیه سازی جریان باد از معادله مونین و ابوکوف استفاده شده است که به صورت زیر می باشد [۶ و ۱۰].

$$u(z) = \frac{u_*}{\kappa} \left[\ln\left(\frac{z}{z_0}\right) - \psi_m\left(\frac{z}{L}\right) \right] \quad (1)$$

$$\theta(z) = \theta_0 + \frac{\theta_*}{\kappa} \left[\ln\left(\frac{z}{z_0}\right) - \psi_h\left(\frac{z}{L}\right) \right] \quad (2)$$

که در این معادلات u بیانگر سرعت، θ نیز معرف دمای پتانسیل بر اساس ارتفاع می باشد و L نیز به ضریب مونین-ابوکوف معروف است که در جدول ۱ مقادیر آن برای شرایط مختلف لیست شده است [۱۳ و ۱۴].

¹ Monin-Obukhov similarity theory (MOST)



شکل ۵- تصویر ساده سازی شده از شعله (شعله ایده‌آل)

پس از ساده سازی آتش، چنانکه در شکل ۶ ملاحظه می‌شود یکی دیگر از پارامترهای مهم، محاسبه‌ی اندازه ارتفاع سطح دود از کف که تابعی از زمان و نیز ارتفاع متوسط شعله (L) است که از معادله زیر محاسبه می‌شود [۱۳].

$$L = 0.235\dot{Q}^{2/5} - 1.02D \quad (۸)$$

با استفاده از معادله (۸) ارتفاع متوسط شعله بر اساس پارامتری از قطر دایره شعله روی زمین و توان انرژی برحسب کیلو وات محاسبه می‌شود. در این معادله \dot{Q} دبی هوای ورودی به شعله است. انتقال گرما و توزیع دما از دیگر اثرات آتش سوزی است که بایستی مد نظر قرار گیرد. با توجه به شکل (۷) مشاهده می‌شود که دود ابتدا به سمت بالا رفته و پس از برخورد به سقف به شکل متوازن به اطراف پخش می‌شود که معادله‌های حاصل از انتقال دما آن نیز به شکل زیر می‌باشد:

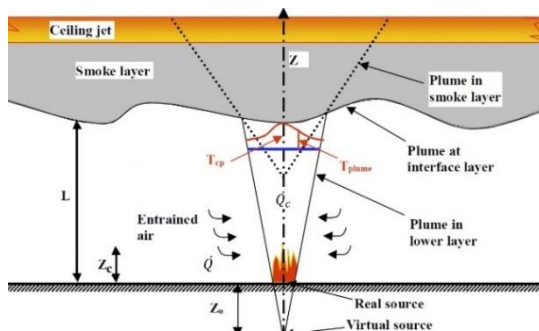
$$T_{max} - T_{\infty} = \frac{16.9\dot{Q}^{2/3}}{H^{5/3}} \quad r/h < 0.18 \quad (۹)$$

$$T_{max} - T_{\infty} = \frac{5.38(\dot{Q}/r)^{2/3}}{H^{5/3}} \quad r/h > 0.18 \quad (۱۰)$$

که در این معادله \dot{Q} دبی هوای ورودی به شعله و H ارتفاع اتاق یا فاصله که تا سقف است.

۴- نتایج حاصل از شبیه‌سازی

پس از شبیه سازی، نمودارهای حاصل از دمای هریک از چهار آشکارساز به صورت تابعی از زمان به دست می‌آید. شکل‌های ۸ تا ۱۲ به ترتیب نمودار دمای آشکارسازهای ۱ تا ۴ را براساس سرعت‌های هوای مختلف به صورت تابعی از زمان نشان می‌دهند. همانطور که دیده می‌شود آشکارساز ۱ با توجه به نزدیکی به محل اولیه آتش سوزی بیشترین دما را احساس می‌کند.



شکل ۶- نواحی مختلف شعله ایده‌آل و محیط پیرامونی [۲۱]

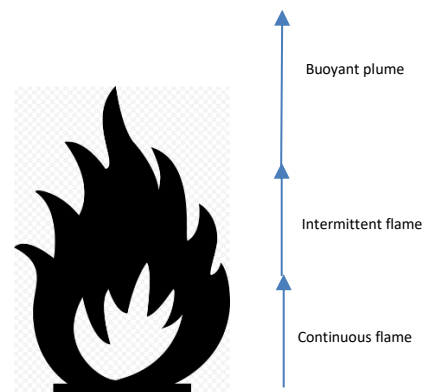
جدول ۲- جدول اصطکاک ابرودینامیکی برای شرایط مختلف [۱۳ و ۱۴]

$Z_0(M)$	دسته بندی	نوع محیط
۰/۰۰۰۲	نسبتاً صاف	دریا، محیط آسفالت، محل پوشیده شده با برف
۰/۰۰۰۵	صاف	ساحل‌ها، قالب‌های یخ، نوارهای پوشیده با برف
۰/۰۰۳	باز	چمن‌زار، تندرا، فرودگاه، علفزار
۰/۱	باز و ناهموار	محل‌های باز با موانع گاه و بی‌گاه
۰/۲۵	ناهموار	علفزارهای بلند، محل‌های صاف و دارای درخت کم
۰/۵	خیلی ناهموار	ترکیب جنگل و مزرعه، باغ، ساختمان‌های پراکنده
۱/۰	بسته	حومه شهر، روستا، جنگل
>۲	بی نظم	شهرک‌های بزرگ و شهرها، جنگل‌های پراکنده

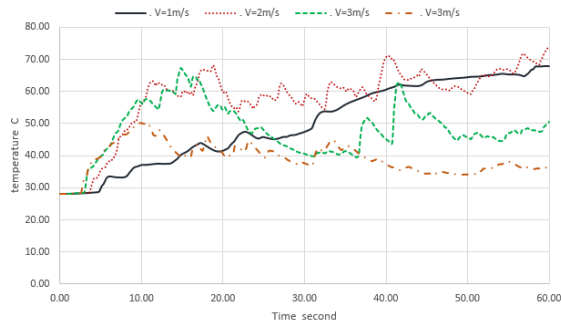
۳-۲- معادلات حاکم بر انتقال دمای آتش

یکی از پارامترهای مهم در انتشار آتش در محیط ارتفاع شعله است. همانطور که در شکل ۴ نیز می‌توان مشاهده نمود شعله آتش در اکثر پژوهش‌های هندی به سه قسمت تقسیم می‌شود [۱۴]. قسمت اول که در سمت پایین قرار می‌گیرد بخشی است که همواره در آنجا شعله آتش وجود دارد، قسمت بعدی که در قسمت میانی آتش قرار می‌گیرد محلی است که شرایط ناپایداری وجود داشته و شعله آتش در آن محل گاه ایجاد و گاه خاموش می‌شود و در نهایت قسمت سوم هم محدوده‌ای است که در بالایی‌ترین قسمت آتش قرار می‌گیرد که در آن محدوده هرچند شعله آتش حضور ندارد اما محدوده حاوی گازهای با دمای بسیار بالا و محصولات حاصل از احتراق است [۱۵-۱۸].

برای بررسی بیشتر شعله آتش باید آن را مانند شکل ۵، ایده‌آل و ساده سازی کرده و گسترش آن را به شکل یک مخروط فرض شده است [۱۹ و ۲۰]. در این تحقیق شعله آتش به صورت یک مخروط متقارن فرض شده است که توزیع سرعت در آن به صورت یکنواخت در نظر گرفته شده است و از پدیده‌های فیزیکی و شکل اصلی شعله به جهت ساده سازی و تقریب مهندسی (به دلیل تاثیر ناچیز این عوامل در کلیت و انتشار پدیده آتش سوزی) صرف‌نظر شده است. در این حالت که آتش را از یک نقطه بر روی زمین شبیه سازی شده و می‌توان به راحتی معادلات را برای این حالت ساده سازی نمود.

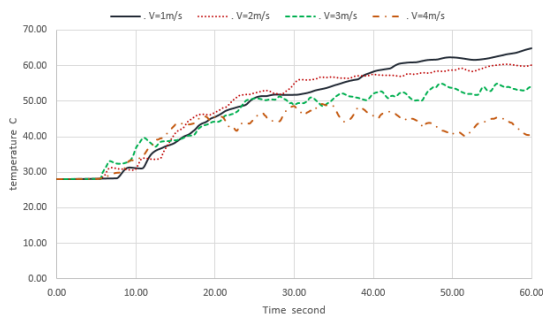


شکل ۴- تقسیم بندی نواحی مختلف شعله آتش

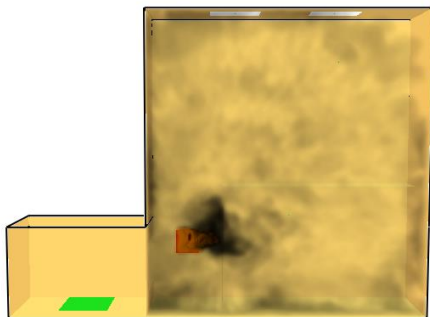


شکل ۹- نمودار دمای آشکارساز ۲ براساس سرعت باد ورودی

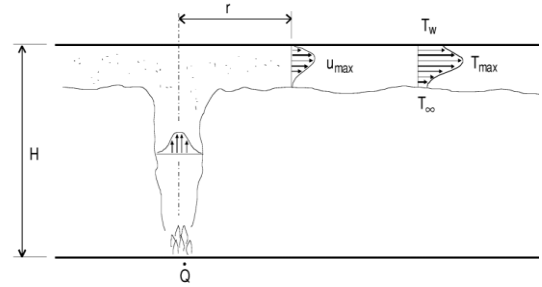
همچنین در حالتی که در بسته است با توجه به عدم ایجاد جریان هوای مناسب، گرما در اتاق محبوس شده و از طریق پنجره‌ها به بیرون کمتر منتقل شده و آشکارسازها دمای بیشتر و پنجره‌ها دمای کمتری را نشان داده اند. لذا به نظر می‌رسد که علیرغم اینکه با افزایش سرعت هوای ورودی، کمی از دمای بیشینه کاسته شده است اما به سبب اینکه موجب انتشار سریعتر آتش شده است می‌تواند خطر ساز باشد و بایستی سرعت ورود هوا به محل آتش گرفته را با ترفندهای معقول مهندسی و معماری از جمله ایجاد فیلتر ورودی، استفاده از درب‌های اتوماتیک و یا فضاهای جدا کننده، کنترل و محدود نمود. البته برخی از کشورها در این زمینه و برای سیستمهای اعلان حریق استانداردهای سختگیرانه‌ای برای محافظت از جان و مال افراد ساکن تبیین نموده‌اند [۲۳] و در برخی دیگر سازندگان ملزم به مدلسازی ساختمان و بررسی نتایج عددی به خصوص برای ساختمانهای عمومی هستند [۲۴].



شکل ۱۰- نمودار دمای آشکارساز ۳ براساس سرعت باد ورودی

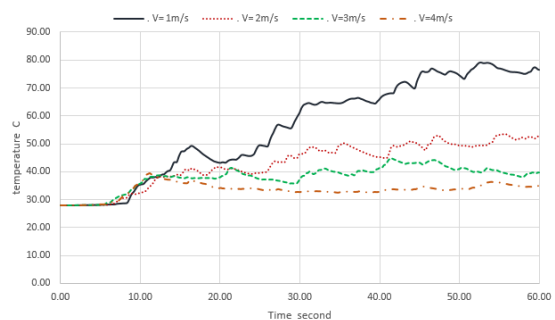


Time: 9.98

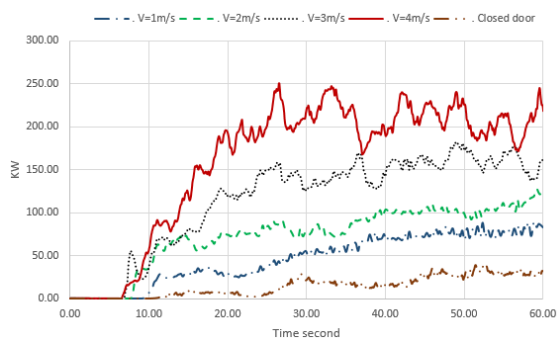


شکل ۷- حرکت دود حاصل از شعله [۱۳]

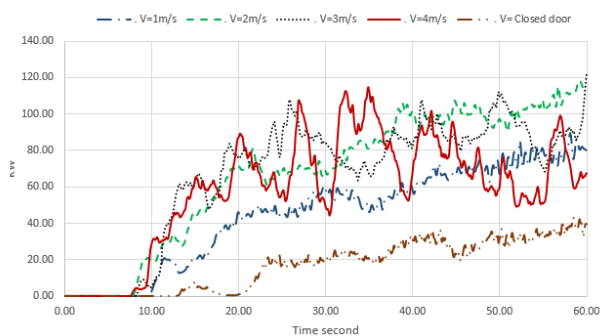
شکل ۱۱ نمودار توزیع پیشرفت دود با سرعت باد ورودی ۱ متر بر ثانیه در زمان‌های ۱۰، ۳۰ و ۶۰ ثانیه آورده شده است. همانطور که دیده می‌شود به دلیل عدم وجود هیچگونه مانع در سر راه انتشار دود، پس از گذشت زمانی نه چندان زیاد کل محوطه کتابخانه مملو از محصولات احتراقی می‌شود. برای دیدن نمودار توزیعی دود در سرعت‌های مختلف و زمان‌ها و تغییرات مختلف معماری می‌توانید به پایان نامه کارشناسی ارشد از همین نویسندگان در دانشگاه شهید مدنی آذربایجان [۲۲] رجوع نمایید. با افزایش سرعت هوای اتاق نیز با توجه به تهویه سریعتر هوا از طریق پنجره‌ها دما با سرعت کمتری افزایش یافته است. توزیع کیفی نمودارها در سرعت‌های هوای مختلف تقریباً متشابه بوده اما نکته‌ی قابل توجه و مهم نوسانات شدید در آشکارساز ۲ در سرعت‌های بالا و کاهش زمان احساس اولین تغییرات دمایی اتفاق افتاده است که نشان دهنده حساسیت محل قرارگیری آشکارسازهای نصب شده برای سیستم اعلان حریق می‌باشد که بایستی در طراحی به شدت مورد توجه قرار گیرد. سپس به بررسی میزان گرمای خروجی از پنجره‌ها در سرعت‌های مختلف باد پرداخته شده است. همانطور که در این شکل‌ها نیز به وضوح دیده می‌شود با افزایش سرعت جریان هوا نوسانات دمایی هوای خروجی از پنجره‌ها نیز افزایش یافته و نیز هوای گرمتر به سرعت از این پنجره‌ها خارج شده است.



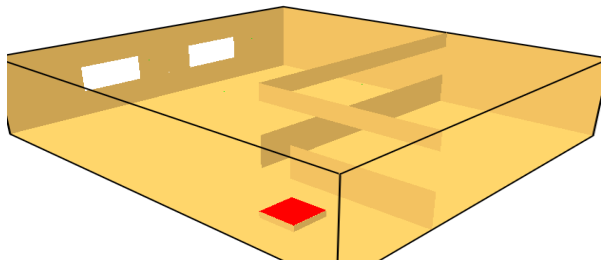
شکل ۸- نمودار دمای آشکارساز ۱ براساس سرعت باد ورودی



شکل ۱۳- نمودار گرمای خروجی از پنجره شماره ۱ بر اساس سرعت- های مختلف جریان باد ورودی



شکل ۱۴- نمودار گرمای خروجی از پنجره شماره ۲ بر اساس سرعت- های مختلف جریان باد ورودی



شکل ۱۵- تصویر مدل با در بسته و تغییر در قسمت بالای باز شو

همانطور که در شکل ۱۷ دیده می‌شود دمای حسگر ۱ (دمای مخزن کتاب‌ها) در پایان ۶۰ ثانیه از شروع آتش سوزی به میزان ۱۴ درجه سلسیوس (۱۶٪) کاهش یافته است که این نشانه خوبی از ایجاد فرصت مناسب برای مهار آتش سوزی است.

اما در دمای احساس شده در آشکارسازهای ۲ تا ۴ افزایش دما دیده می‌شود که نشان از آن است که با توجه به کاهش امکان نفوذ آتش در مخزن این گسترش به سایر مناطق تسری یافته است. البته خود این موضوع نیز می‌تواند در عین اینکه منابع ارزشمند کتابخانه حفظ شده است، اعلام حریق را زودتر فعال کرده و سریعتر هشدارهای لازم صادر می‌گردد که این امر در زمان طلایی مهار حریق می‌تواند موثر باشد. لذا تغییر ایجاد شده کوچک در معماری نه تنها باعث افزایش زیبایی داخلی کتابخانه شده و در ضمن باعث هدایت گرما از قسمت مخزن به سایر بخش‌ها شده است.



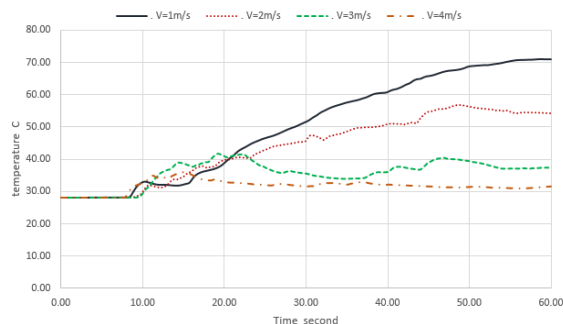
30 sec



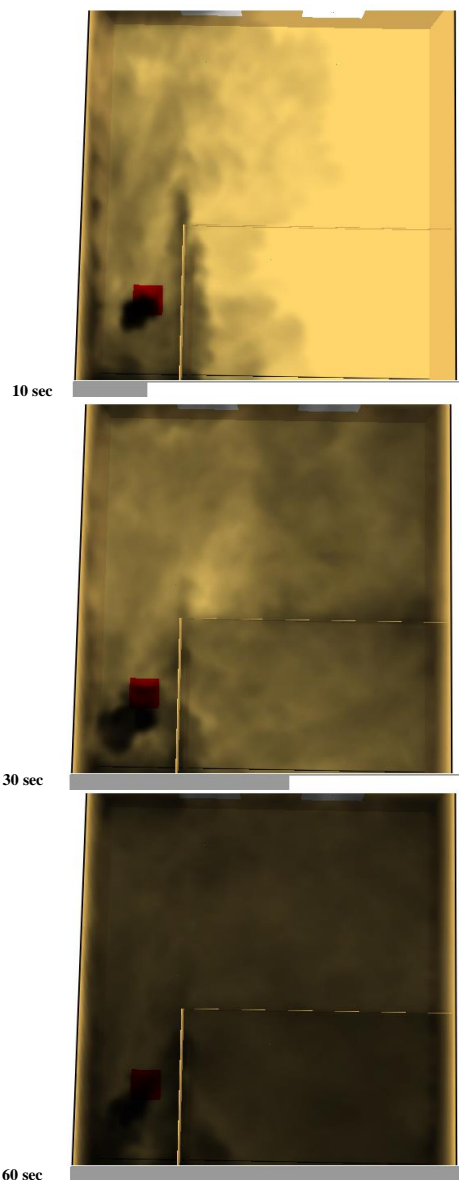
60 sec

شکل ۱۱- تصویر پیشرفت دود با سرعت باد ورودی ۱ متر بر ثانیه

در مرحله بعدی برای محافظت بیشتر از قسمت با ارزش مخزن کتاب‌ها در بالای قسمت مخزن اقدام به ایجاد طرحی اصلاحی شده است (شکل ۱۵). در شکل‌های ۱۶ تا ۱۹ نیز نمودار دمای آشکارسازهای ۱ تا ۴ قبل و بعد از اصلاح باز شو مخزن نمایش داده شده است.



شکل ۱۲- نمودار دمای آشکارساز ۴ بر اساس سرعت باد ورودی



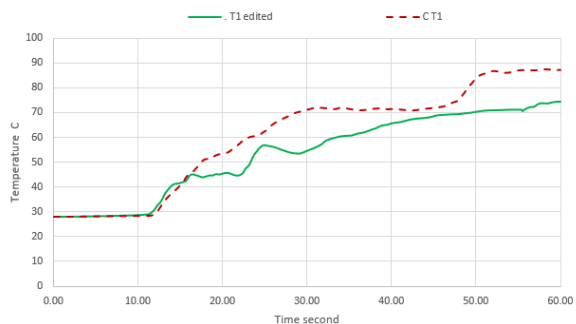
شکل ۲۰- تصویر پیشرفت دود بعد از اعمال اصلاح باز شو مخزن دتاب

۵- نتیجه گیری

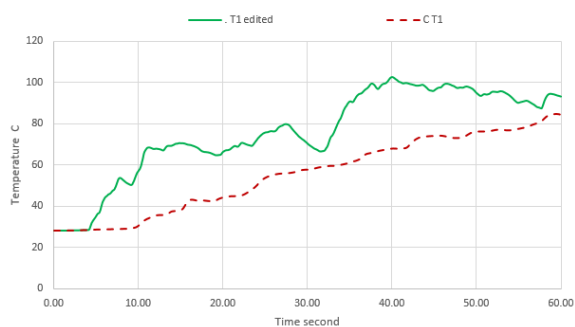
با توجه به بررسی‌ها و نتایجی که در نتایج بدست آمده ارایه شده است، می‌توان نتیجه گرفت که اولاً سرعت جریان باد ورودی به کتابخانه تاثیر زیادی در گسترش آتش و افزایش گرمای خروجی از پنجره‌ها داشته و بایستی تلاش شود تا حد ممکن این جریان قطع شود. برای این منظور استفاده از درب‌ای اتوماتیک برقی در بین لابی و سالن مطالعه پیشنهاد می‌گردد. با توجه به اینکه درب اتوماتیک برقی را در معماری می‌توان همیشه بسته فرض کرد، به جز مواردی که اشخاص قصد عبور دارند، به همین علت با نصب درب برقی میزان گرمای خروجی از پنجره‌ها که شاخص مهمی برای گسترش آتش‌سوزی است به میزان قابل توجهی کاهش خواهد یافت.

همچنین برای محافظت بیشتر از مخزن کتاب‌ها به عنوان یک گزینه دارای ارزش مادی و معنوی بالا که در صورت نفوذ آتش به این بخش اگر از آب و سایر خاموش‌کننده‌ها نیز استفاده شود باعث آسیب رساندن به کتاب‌ها می‌شود با ایجاد تغییر کوچک که در قسمت بالای

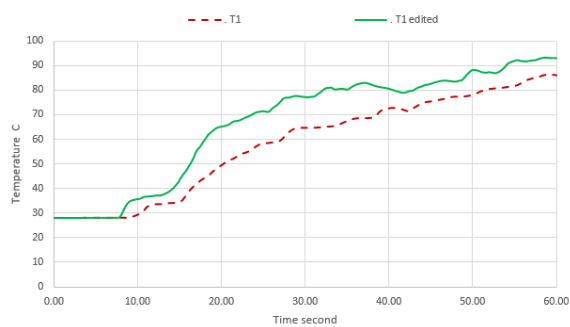
شکل ۲۰ نیز توزیع دود در معماری تغییر یافته در زمان‌های ۱۰، ۳۰ و ۶۰ ثانیه نشان می‌دهد. چنانکه به وضوح نیز دیده می‌شود به دلیل ایجاد مانع بر سر راه انتشار دود، مسیر پخش محصولات احتراقی کاملاً تفاوت یافته و تا حد زیادی زمان کافی برای محافظت قسمت مخزن کتابخانه را ایجاد نموده است.



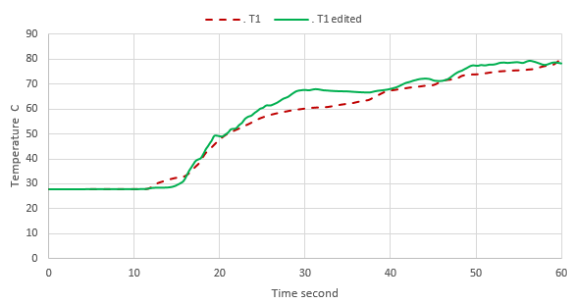
شکل ۱۶- نمودار دمای آشکارساز ۱ قبل و بعد از اصلاح مخزن کتاب



شکل ۱۷- نمودار دمای آشکارساز ۲ قبل و بعد از اصلاح مخزن کتاب



شکل ۱۸- نمودار دمای آشکارساز ۳ قبل و بعد از اصلاح مخزن کتاب



شکل ۱۹- نمودار دمای آشکارساز ۴ قبل و بعد از اصلاح مخزن کتاب

Theoretical Study of Wood Fuel Fires in Enclosed Spaces, APS CI 65, Department of Fire Safety Engineering, Lund University, Sweden, 1970.

- [16] Novozhilov V., Harvie D.J.E., Green A.R. and Kent J.H., A Computational Fluid Dynamic Model of Fire Burning Rate and Extinction by Water Sprinkler. *Combustion Science and Technology*, Vol. 123, pp. 227-245, 1997.
- [17] Pape R., Waterman T. and Eichler T.V., *Development of a Fire in a Room from Ignition to Full Room Involvement - RFIRES*. NBS-GCR 81-301, National Bureau of Standards (now National Institute of Standards and Technology), 1981.
- [18] Beshir M., Beji T. and Merci B., *CFD Modeling of the Interaction between a Smoke plume and a Sprinkler Spray*. The University of Edinburgh, 2017.
- [19] British Standards Institution, PD 7974-1:2003, *Application of fire safety engineering principles to the design of buildings - Part 1: Initiation and development of fire within the enclosure of origin*. London: British Standards Institution, 2019.
- [20] Lawson J.R., Walton D. and Twilley W.H., *Fire Performance of Furnishings as Measured in the NBS Furniture Calorimeter*. Commerce Department, National Institute of Standards and Technology (NIST) NBSIR 93-2787. U.S. Department of Commerce. Washington, DC. January 1984.
- [21] Yager B., Kashaf A., Bénichou N. and Hadjisophocleous G., *FIERAdetection Model (DTRM) Theory Report*. IRC-IR-841, January 2002.
- [22] Soltani H., Rahmanpour M., Investigation and Numerical Modeling of Architectural Effects of Common Spaces in Fire and Smoke in Public Buildings, MSc. Thesis, Mechanical Engineering Department, Azarbaijan Shahid Madani University, September 2021.
- [23] Qi D., Wang L. and Zmeureanu R., an Analytical Model of Heat and Mass Transfer through Non-adiabatic High-rise Shafts during Fires. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 72, pp. 585-594, 2014.
- [24] Colella F., Rein G., Verda V. and Borchiellini R., Multiscale modeling of transient flows from fire and ventilation in long tunnels. *Computers and Fluids*, Vol. 51, pp. 16-29, 2011.
- [25] A. Sathe, J. Mann, T. Barlas, W. A. A. M. Bierbooms, G. J. W. Van Bussel, Influence of atmospheric stability on wind turbine loads, *Wind Energy*, No. 16, Vol. 7, pp. 1013-1032, 2013.

بازشو این مخزن انجام شده است که هم از نظر معماری باعث ایجاد ترکیب بندی مناسب و زیبایی محیط شده است و هم اینکه باعث کاهش ورود دود به مخزن کتاب و کاهش دمای ۱۴ درجه‌ای معادل ۱۶ درصد بعد از ۶۰ ثانیه در این قسمت گردیده است.

۶- مراجع

- [1] Shan-jun M.O., Zi-rong L., Dong L., Jia-xin L. and Nan-jiang Z., Analysis of Smoke Hazard in Train Compartment Fire Accidents Base on FDS. *Procedia Engineering*, Vol. 52, pp. 284-289, 2013.
- [2] Guoxiang Z., Beji T. and Merci B., Study of FDS simulations of buoyant fire-induced smoke movement in a high-rise building stairwell. *Fire Safety Journal*, Vol. 91, pp. 276-283, 2017.
- [3] Sujatmiko W., Dipojono H.K., Nugroho Soelami F.X. and Soegijanto R.M., Study on Fire Dynamic Development in a Multistory Building Compartment. *Procedia Engineering*, Vol. 170, pp. 162-168, 2017.
- [4] Sellami I., Manescau B., Chetehouna K., Izarra C.D., Said R.N. and Zidani F., BLEVE fireball modeling using Fire Dynamics Simulator (FDS) in an Algerian gas industry. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, Vol. 54, pp. 69-84, 2018.
- [5] Wang, X., Fleischmann C., and Spearpoint M., Applying the FDS pyrolysis model to predict heat release rate in small-scale forced ventilation tunnel experiments. *Fire Safety Journal*, Vol. 112, 2020.
- [6] M. Mokhtari, M. Taleai, Simulation of Smoke Emission from Fires in High-Rise Buildings Using the 3D Model Generated from 2-Dimensional Cadastral Data, *JGST.*, Vol. 9, No. 4, pp. 19-37, 2020.
- [7] A. Soltanzadeh, H. Mazaherian, S. Heidari, A. Andaji, Placing Egress Components and Smoke Shafts in the Core Structure of Residential High-rise Buildings for Emergency Evacuation, *Space Ontology International Journal*, Vol. 10, pp. 27-45, 2021.
- [8] Xin Yi, Changkui Lei, Jun Deng, Li Ma, Jing Fan, Yuanyuan Liu, Lei Bai, Chi-Min Shu, Numerical Simulation of Fire Smoke Spread in a Super High-Rise Building for Different Fire Scenarios, *Advances in Civil Engineering*, vol. 2019.
- [9] McGrattan K., McDermott R., Weinschenk C., Overholt K., Floyd J. and Forney G., *Fire Dynamics Simulator, Technical Reference Guide*. Sixth Edition, NIST Special Publication (NIST SP)-1018, 2013.
- [10] Hamins A., Maranghides A., McGrattan K.B., Johnsson E., Ohlemiller T., Donnelly M., Yang J., Mulholland G., Prasad K., Kukuck S., Anleitner R. and McAllister T., *Report on Experiments to Validate Fire Dynamic and Thermal-Structural Models for Use in the World Trade Center Investigation*. NIST Special Publication 1000-B, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, 2004.
- [11] Li L.J., J. Ji J., Fan C.G., Sun J.H., Yuan X.Y. and Shi W.X., Experimental investigation on the characteristics of buoyant plume movement in a stairwell with multiple openings. *Energy and Buildings*, Vol. 68, pp. 108-120, 2014.
- [12] Cleary T., Donnelly M., Mulholland G. and Farouk B., Fire Detector Performance Predictions in a Simulated Multi-Room Configuration. *12th International Conference on Automatic Fire Detection (AUBE '01)*, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, 2001.
- [13] Karlsson B. and Quintiere J.G., *Enclosure fire dynamics*. CRC Press LLC, New York, 2000.
- [14] Hendri J. Breedt, Ken J. Craig, Venkatesh D. Jothiprakasham, Monin-Obukhov similarity theory and its application to wind flow modelling over complex terrain, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 182, pp. 308-321, 2018.
- [15] Magnusson S.E. and Thelandersson S., *Temperature-Time Curves of Complete Process of Fire Development*,